

# STUDY ON SOLAR WIND PLASMA AND ITS INTERACTION WITH COMETARY PARTICLES (太陽風プラズマ, および その彗星粒子との相互作用に関する研究)

著者	三宅 亙
号	1063
発行年	1988
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/24925">http://hdl.handle.net/10097/24925</a>

氏名・(本籍)	み 三	やけ 宅	わたる 瓦
学位の種類	理	学	博 士
学位記番号	理博第	1 0 6 3	号
学位授与年月日	昭 和 63 年	3 月	25 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当		
研 究 科 専 攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 地球物理学専攻		
学位論文題目	STUDY ON SOLAR WIND PLASMA AND ITS INTER- ACTION WITH COMETARY PARTICLES (太陽風プラ ズマ, およびその彗星粒子との相互作用に関する研究)		
論文審査委員	(主査) 教 授 大 家 寛		
	教 授 福 西 浩		
	教 授 齊 藤 尚 生		
	助 教 授 森 岡 昭		

## 論 文 目 次

ACKNOWLEDGEMENTS

PREFACE

TABLE OF CONTENTS

Chapter 1 Introduction

- 1.1 Plasma flow in the interplanetary space
- 1.2 Expansion of solar corona
- 1.3 Structure in the interplanetary space
- 1.4 Important physical processes in the solar wind
- 1.5 Subject for studies in this thesis

Chapter 2 Review on type III solar radio bursts

- 2.1 Satellite observation of low frequency type III radio bursts

2.2	Conversion theory
Chapter 3	Interplanetary plasma and magnetic structures deduced from type III solar radio bursts
3.1	Relation of type III solar radio bursts to the interplanetary structure
3.2	Plasma sheet in the interplanetary space
3.3	Interpretation of the statistical arrival direction of type III radio emission
3.4	Application to the observation result of Gurnett et al. (1978)
3.5	Direction finding analysis of type III radio bursts
3.6	Concluding remarks
Chapter 4	Plasma wave observation in the solar wind by MS-T5
4.1	Instrumentation of plasma wave probe aboard Sakigake
4.2	Observation results of the PWP in the solar wind
4.3	Mode identification of the plasma waves
Chapter 5	Instrumentation and observation results of the solar wind experiment aboard Planet-A
5.1	Instrumentation
5.2	Data reduction
5.3	Stream structure
5.4	Proton temperature properties
5.5	Results of case study on remarkable events
Chapter 6	Solar wind interaction with comet Halley observed at the encounters of MS-T5 and Planet-A
6.1	Comets
6.2	Orbits and encounter
6.3	Plasma wave observation around comet Halley
6.4	Plasma observation around comet Halley
6.5	Discussion
6.6	Conclusion
Chapter 7	Conclusions
APPENDIX	
BIBLIOGRAPHY	

# 論文内容要旨

太陽系空間は、太陽コロナから吹き出す太陽風、つまり、超音速のプラズマ流で満たされている。歴史的には、地磁気嵐の原因、又、彗星が尾をひく源として、その存在が予想されていた太陽風は、飛翔体観測によりその実在が確認され、地球磁気圏の活動のエネルギー源としての観点より、多くの研究がなされている。

近年、太陽系空間の飛翔体による探査が進むにつれて、太陽風は地球周辺のみでなく、広く惑星間空間領域で計測されるようになった。その結果、太陽系の空間に展開する巨大な太陽風磁化プラズマ分布の三次元構造、また、太陽風の非一様性に起因する、様々なプラズマの不安定性が問題となっている。そしてまた、地球以外の天体と太陽風の相互作用についても一般的に広い課題をもち、新たな分野が拓かれている。

こうした情勢の中で、我国もその独自の宇宙空間の探査の進展の結果、太陽系空間に二つの飛翔体を送り出す事に成功し、太陽風の直接計測、および他の天体との相互作用の観測が可能となった。本論文では主として飛翔体による、プラズマ計測と波動観測の相方の結果をもとに、太陽風プラズマと磁場の構造、太陽風プラズマと彗星粒子との相互作用の研究を行ったものである。

タイプIII太陽電波バーストは長い研究の歴史をもつ、よく知られた太陽活動に原因をもつ電波である。この電波バーストの発生源は太陽近傍にとどまらず、広く地球軌道近くに至る太陽系空間にひろがっていることが、近年の科学衛星による観測成果として判明している。タイプIII電波バーストは、太陽フレアとともに、電子加速域から放出された電子ビームが、太陽風プラズマ中で静電プラズマ波動を励起し、この静電プラズマ波動が電磁波に変換されて生じるものと理解されるようになったが、プラズマ波動が電磁波に変換される機構については、謎としてのこされていた。従来、静電プラズマ波動の基本周波数、 $f_p$  (プラズマ周波数) の2倍の高調波周波数で変換されるものとされていた。この結論を電波の到来方向の観測結果と、 $f_p$  の太陽風中の分布のモデルから説明しようとする試みがあった。その解析では、タイプIIIバースト電波が直進すると仮定され、電波源領域のプラズマ密度分布、したがって、 $f_p$  の分布は球対称の太陽からの距離のみに依存するという単純なモデルにもとづいている。実際には太陽磁気圏は大きなダイポール磁場分布をもち、その中性面付近には、太陽風が低速度領域を作る高密度のプラズマシートが形成されている。そこで、不均一分布を基本とするプラズマ密度の三次元構造をモデル化し、その構造中での電波伝搬を解析的に検討した。その結果、 $f=2f_p$  ではなく  $f=f_p$  である事が、観測された電波の到来方向の説明から得られた。特に従来の考えでは再現できない到来方向の太陽に対する非対称性も説明でき、このことから  $f=f_p$  での電磁波への変換と、太陽風中のプラズマ構造の相方が同時に検証された。

タイプIII電波バーストを生じさせる電子ビームは太陽系空間の磁力線に沿って太陽風プラズマ中を伝播する。したがって電波源の移動を観測することにより、太陽風中の磁力線の形状を

追跡することができる。科学衛星「じきけん」(EXOS-B)により計測された、30 KHz-3MHzの電波データを解析し、惑星間空間の磁場のアルキメデスのらせ線構造を確認した。さらに、太陽面上の対応するフレアの位置と電子ビームの動きを比較してみると、光球面上と太陽風が流れ出す流源面の間で最大30°程度、磁力線が曲がる場合が存在することが判明した。又、タイプIIIバースト電波は太陽風の下流方向にのみ伝播し、太陽側には進まないことが確認された。惑星間空間プラズマ密度の分布は、一般に、太陽に近づく程増大するため、この事実は $f=f_p$ で電磁波が生じる事を証明している。

「さきがけ」と「すいせい」は我国で最初の惑星間空間飛翔体としてハレー彗星へ向かった。本研究では、この「さきがけ」に搭載されたプラズマ波動プローブと「すいせい」に搭載された静電エネルギー分析器のデータをもとに、太陽風及び惑星間プラズマ分布を解明した。これらの探査機が飛翔した1985年から1986年にかけては太陽活動極小期にあたり、太陽風中の基本構造が見えやすい時期であった。さらに、太陽風速度とよい相関を持つことが知られているPc3地磁気脈動を地球近辺における速度のモニターとして用い、「すいせい」で計測された太陽風速度と比較することにより、擬似2点観測を試みた。「すいせい」と地球相互間の太陽面緯度の差が小さいとき、両者の間の距離が $10^8$  km以上離れた場合でも、よい相関が見いだされたのに対し、「すいせい」と地球の太陽面緯度の差が2°以上になった時期には相関が下がり、緯度方向に大きな速度の勾配が存在していることがわかった。

太陽風は太陽から離れるに従い、基本的には断熱膨張によって、冷却する。この冷却は低速流のプラズマでは比較的明瞭に現われるが、高速流のプラズマ中では、顕著ではない。「すいせい」の観測はこのことに追認を与えた。太陽風中の速度が上昇中は、速度の下降時によりも温度が上昇する事が知られていて、これは太陽風加熱があることを示す。そこで、この発熱がある場合が、太陽からの距離に関する温度勾配に与える影響を調べた。速度が上昇中の時のデータを取り除く時、高速流の中でも、断熱膨張による冷却の傾向が明白に見られ、高速流中で温度勾配が顕著でない理由が、特に速度が上昇しつつある領域の発熱に求められることが明確となった。

「さきがけ」と「すいせい」は1986年3月にハレー彗星に最接近し、その周辺のプラズマとプラズマ波動の観測を行った。彗星と太陽風の相互作用が、惑星と太陽風の相互作用と大きく異なるのは、彗星は重力の影響が弱く、その表面から放出されたガスは高速度(約1 km/sec)で宇宙空間にひろがり、その相互作用が広大な空間に広がっている点にある。

「さきがけ」のプラズマ波動観測では、30~195 KHzの間で彗星起源の電波が観測された。この電波は彗星前面のショックから放射されていると考えられ、その周波数の変動は彗星に吹きつける太陽風の変動により、ショックの位置が動くことに対応しているとするとき、合理的な説明が可能となる。この場合ショックは $3.0\sim7.0\times10^5$  kmの間を移動していると推算された。又、電磁波の他に、静電プラズマ波動が彗星核から $10^7$  km程度離れた太陽風中で観測され、彗星起源の粒子による不安定性の領域が大きく広がっていることを示した。

「すいせい」のプラズマ粒子観測では、彗星核から $4.5 \times 10^5$  km の地点でプラズマの状態の急激な変化が観測され、ショックが生じていることが確認された。これは電波観測からの推測と良い一致を示している。又、粒子の速度分布中に、太陽風に捕捉された彗星イオンのリング状の分布が確認され、これは彗星核から $10^7$  km の距離の地点まで見られ、前述の波動観測の結果とよい対応を示した。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、太陽風プラズマ流及びその彗星との相互作用に関し、科学衛星ならびに惑星間空間飛翔体による直接観測をもとに、解明したもので、多くの新しい知見をもたらした極めて優れた内容のもので、研究内容は大きく分けて、二つの部分より成り立っている。すなわち第2章から3章にわたってのべられている科学衛星「じきけん」の観測による太陽 III 型電波バーストのデータを用いた、太陽系空間プラズマの研究と、第4章から6章にのべているハレー彗星探査機「さきがけ」および「すいせい」による太陽風と彗星プラズマの相互作用の基本的観測である。

科学衛星「じきけん」は、太陽系空間に走る電子ビームによって励起されるタイプ III 型電波バーストを多く観測したが、この到来方向を解明した結果、i) 電子ビームは、太陽面近傍の磁場構造の複雑な領域から放射され、アルキメデス・スパイラルに沿って走る事、ii) タイプ III 型電波バーストは、電子ビームで励起されたプラズマ波動の基本周期、すなわち局所プラズマ波動の近傍で放射される事が実証的に明らかにされた。

特に、局所プラズマ波動近傍でタイプ III 型電波バーストが放射される事は、従来取られてきた、この方面の他の見解すなわち、「局所プラズマ周波数の2倍の高調波で電磁波に変換される」という概念を基本的にくつがえすものである。

続いて本研究は我国初の惑星間空間飛翔体「さきがけ」に搭載されたプラズマ波動観測器及びつづいて、ハレー彗星の核に15万 km まで近づいた「すいせい」に搭載されたエネルギー粒子計測器の観測結果とその物理的意義について述べている。この部分は巨大科学の中のチームメンバーとして行なわれたものであるが、著者がこれらの飛翔体に搭載された上記二つの観測器の制作、試験、データ取得、及び解析の各局面において、すべて重要な役割を果たしてきた結果得られたものである。

観測結果は、ハレー彗星の周辺にプラズマ波動が核より1000万 km にまで広がっていることを明らかにするとともに、また、動く衝撃波から電磁波放射の存在が明らかになったが、著者は、彗星によって観測されたエネルギー粒子の状態から太陽風と彗星の電離ガスの相互作用が、1000万 km まで広がること、そして衝撃波が確かに存在し、それが動いている証拠がある事を、「さきがけ」「すいせい」のデータの比較、さらに同時に行なわれたヨーロッパ、ソ連のハレー彗星の探査機のデータを合わせて明確にした。なお「すいせい」による太陽風の観測については、著者は、特に、注意深くデータの取り扱い方法を発見し、太陽風プラズマは外側に流出するにしたがい、徐々に冷却する事も発見した。

以上、三宅互提出の論文は、著者が自立して研究を行うに必要な高度の研究能力と学識を有する事を示していて、理学博士の学位として合格と認める。